

Studi Kinetika Adsorpsi Emas Menggunakan Kulit Mangga (*Mangifera indica*) Termodifikasi Asam Sulfat

Rizky Ibnufaatih Arvianto*, Kurniawan Mauludi, Ameylia Kris Damayanti, Mokhammad Fajar Pradipta

Departemen Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia 55281

*Penulis korespondensi: rizkyibnu6@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.24198/cna.v7.n1.19191>

Abstrak: Teknik *recovery* emas (Au) yang berkembang bersifat berbahaya dan berdampak buruk terhadap lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis adsorben ramah lingkungan termodifikasi secara kimia dengan asam sulfat dari kulit mangga. Adsorben hasil sintesis selanjutnya diaplikasikan sebagai adsorben selektif emas (Au) dalam larutan. Nilai kapasitas, konstanta laju dan energi adsorpsi ditentukan dengan uji kinetika adsorpsi. Sintesis adsorben dilakukan dengan modifikasi menggunakan H_2SO_4 dengan bahan dasar kulit mangga sehingga membentuk struktur taut ulang (*cross-link*). Produk sintesis dikarakterisasi menggunakan FTIR dan SEM sebelum maupun sesudah menyerap emas. Data kandungan emas setelah proses adsorpsi diukur dengan alat AAS. Spektra FTIR menunjukkan keberhasilan sintesis adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat dan interaksinya dengan emas (Au), yaitu pada bilangan gelombang $1118,71\text{ cm}^{-1}$ yang menunjukkan ikatan C-O-C *linkage* yang terjadi antar selulosa dan pelebaran pada $3433,29\text{ cm}^{-1}$ akibat interaksi antara gugus OH dan Au(III). Hasil SEM menunjukkan perbedaan morfologi permukaan adsorben sebelum dan sesudah menyerap emas yang terjadi karena penutupan rongga adsorben akibat peristiwa adsorpsi-reduksi Au(III). Proses adsorpsi emas oleh adsorben yang disintesis mengikuti model kinetika orde dua semu (*pseudo-2*) dengan nilai kapasitas, konstanta laju, dan energi adsorpsi adalah 130 mmol kg^{-1} , $0,1137\text{ mM}^{-1}\text{s}^{-1}$ dan $5442,72\text{ J mol}^{-1}$.

Kata kunci: adsorben, kulit mangga, adsorpsi, emas (Au)

Abstract: Gold (Au) recovery techniques that are commonly used were dangerous and have a negative impact on the environment. This study aims to synthesize eco-friendly adsorbent prepared from chemically modified with sulfuric acid from mango peel. The synthesized adsorbent was then applied as a selective absorbent for gold (Au) in solution. Capacity, rate constant and adsorption energy were determined by adsorption kinetics test. The synthesis of adsorbent was carried out by H_2SO_4 modification to form a cross-link structure with mango peel as a basic material. Synthesized products before and after adsorption are characterized by FTIR and SEM. Data on gold content after the adsorption process was measured by AAS. FTIR spectra showed the synthesis of sulfuric modified mango peel adsorbent at $1118,71\text{ cm}^{-1}$ that associated C-O-C linkage between cellulose was successful and its interaction with gold (Au) was showed at $3433,29\text{ cm}^{-1}$ broad band that associated the interaction of OH groups and Au(III). SEM image showed differences in the morphology of the adsorbent surface before and after adsorbing gold because the hole closed on adsorbent, it was caused by Au(III) adsorption-reduction. The adsorption process of gold by the adsorbent synthesized followed pseudo-second order kinetics (*pseudo-2*) with capacity values, rate constants, and adsorption energies were 130 mmol kg^{-1} , $0,1137\text{ mM}^{-1}\text{s}^{-1}$ and $5442.72\text{ J mol}^{-1}$.

Keywords: adsorbent, mango peel, adsorption, gold (Au)

PENDAHULUAN

Kehidupan manusia saat ini tidak bisa terlepas dari peralatan elektronik seperti televisi, radio, handphone, mesin cuci, kulkas dan komputer. Semakin modernnya zaman dan semakin meningkatnya populasi manusia maka peralatan elektronik pun makin bertambah banyak dan bervariasi macamnya. Jumlah pengguna peralatan

elektronik mengalami peningkatan yang cukup drastis selama beberapa tahun terakhir ini (Voshchinin *et al.* 2012). Peningkatan ini menyebabkan limbah elektronik meningkat. Banyaknya limbah elektronik yang mengandung logam berat yang beracun mengganggu kelangsungan hidup organisme apabila terus berada di lingkungan. Pada umumnya, limbah peralatan elektronik

mengandung logam sebanyak 40%, plastik sebanyak 30% dan oksida refraktori sebanyak 30% (Sodhi & Reimer 2001). Tipe logam tersebut terdiri dari tembaga (20%), besi (8%), timah (4%), nikel (2%), timbal (2%), seng (1%), perak (0,02%), emas (0,1%) dan palladium (0,005%) (Gramatyka *et al.* 2007).

Salah satu logam berharga yang terdapat dalam limbah elektronik adalah emas (Au). Lebih dari 300 ton emas digunakan dalam peralatan elektronik. Penelitian yang telah dilakukan oleh perusahaan Jepang, Yokohama Metal Co. Ltd. menemukan bahwa 1 ton bahan tambang emas setelah diolah rata-rata hanya menghasilkan 5 g emas, sedangkan 1 ton ponsel bekas dapat menghasilkan 150 g emas atau lebih. Dengan berat yang sama, emas hasil limbah elektronik dapat mencapai 30 kali lebih banyak dibandingkan dengan emas hasil pertambangan. Teknik recovery atau pengambilan kembali emas dari limbah elektronik dirasa sangat penting. Perlu penelitian mendalam dalam memilih adsorben yang selektif terhadap emas (Takahashi *et al.* 2007).

Metode isolasi emas yang banyak digunakan dalam skala industri adalah metode sianida (Hiskey 1985) dan metode amalgamasi (Supriyadijaja & Widodo 2009). Metode sianida menggunakan natrium sianida yang beracun serta memberikan dampak negatif terhadap kualitas air dan sedimen di sekitar lokasi pengolahan. Amalgamasi merupakan proses ekstraksi emas dengan cara mencampurkan bijih emas dengan merkuri (Hg). Dalam proses ini akan terbentuk ikatan senyawa antara emas, perak, dan merkuri itu sendiri yang biasa dikenal sebagai amalgam (Au – Hg). Merkuri akan membentuk amalgam dengan logam lain selain besi dan platina. Merkuri merupakan logam yang beracun dan mencemari lingkungan. Apabila Merkuri tersebut masuk ke dalam tubuh manusia melalui penggunaan air dan hasil-hasil perairan yang dimanfaatkan manusia, hal ini terjadi karena penumpukan logam berat dalam jaringan tubuh manusia, sehingga secara perlahan dapat menimbulkan kerusakan permanen pada organ tubuh, secara kronis dapat menyebabkan kematian.

Hamamoto *et al.* (2009) telah melakukan reduksi ion emas menjadi logam emas menggunakan turunan fenol dan menunjukan hasil bahwa gugus hidroksil pada senyawa turunan fenol bekerja secara efisien dalam mereduksi ion emas menjadi logam emas. Adsorpsi didasarkan pada interaksi ion logam dengan gugus fungsional yang ada pada permukaan adsorben melalui interaksi pembentukan kompleks dan biasanya terjadi pada permukaan padatan yang kaya gugus fungsional seperti –OH, –NH, –SH, dan –COOH (Stum & Morgan 1996). Bahan-bahan alam banyak memiliki gugus –OH fenolat yang terikat pada cincin aromatik. Adsorben yang berasal dari turunan fenolat, lignofenol, dan humin kaya akan gugus hidroksil yang terikat pada cincin aromatik (Gaffney *et al.* 1996).

Dewasa ini telah mulai dikembangkan metode adsorpsi yang ramah lingkungan, yaitu menggunakan adsorben yang berasal dari bahan alam, seperti kitosan (Qu *et al.* 2009), turunan kitosan (Wang *et al.* 2012), asam humat (Prasasti 2011) dan ampas tebu (Rubcumintara 2015). Bioadsorben ini dirasa memiliki kelimpahan yang cukup banyak di alam serta tidak menggunakan bahan kimia berbahaya yang dapat mencemari lingkungan.

Salah satu adsorben yang berasal dari alam dan bersifat ramah lingkungan adalah adsorben dari bagian buah mangga. Buah mangga merupakan salah satu buah yang paling banyak dikonsumsi di Indonesia. Konsumsi yang besar terhadap buah mangga menghasilkan limbah berupa biji dan kulit buah mangga. Masalah limbah yang menjadi isu lingkungan dapat dikurangi dengan memanfaatkannya menjadi bahan lain yang lebih bermanfaat. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pemanfaatan limbah kulit buah mangga menjadi adsorben selektif Au(III).

BAHAN DAN METODE

Bahan

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah kulit mangga, H₂SO₄ 98% (Merck), HCl 36% (Merck), NaHCO₃ (Merck), emas batangan 99,9 %, HNO₃ 65% (Merck), kertas saring, kertas lakmus biru, akuades dan akuabides.

Sintesis Adsorben Termodifikasi Asam Sulfat

Kulit mangga dihaluskan kemudian ditambahkan larutan asam sulfat pekat. Campuran diaduk selama 24 jam pada suhu 100°C agar terjadi reaksi kondensasi sehingga terbentuk taut ulang (*cross-link*) diantara selulosa. Padatan yang diperoleh disaring dan dinetralkan pHnya dengan NaHCO₃. Kemudian padatan dicuci dengan akuades serta dikeringkan di dalam oven selama 24 jam. Padatan digerus menjadi serbuk dan dikarakterisasi menggunakan FT-IR dan SEM.

Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Adsorben sebanyak 60 mg diinteraksikan dengan 10 mL larutan yang mengandung variasi konsentrasi dari 0,05; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 mM Au(III) dan diaduk selama 7 jam. Setelah dipisahkan supernatannya, konsentrasi emas sisa dalam larutan ditentukan dengan AAS. Dengan kondisi yang sama dengan larutan sampel, larutan blanko juga dianalisis.

Berdasarkan data yang dihasilkan, kapasitas adsorpsi (q) untuk emas ditentukan.

Penentuan Konstanta dan Energi Adsorpsi

Penentuan konstanta laju adsorpsi dilakukan dengan uji kinetika menggunakan larutan Au(III) dengan konsentrasi 0,8 mM sebanyak 12 larutan. Masing-masing larutan tersebut dicampur dengan adsorben sebanyak 60 mg dan diaduk dengan variasi

waktu 0; 3; 10; 20; 30; 60; 90; 120; 180; 240; 300 dan 600 menit. Setelah dipisahkan supernatannya, konsentrasi Au(III) sisa dalam larutan ditentukan dengan AAS. Data adsorbansi yang diperoleh digunakan untuk uji kinetika orde nol, satu, dua, tiga, satu semu dan dua semu sehingga diperoleh nilai konstanta laju adsorpsi. Nilai konstanta laju adsorpsi tersebut digunakan untuk menentukan energi adsorpsi pada suhu ruang dengan menggunakan persamaan Arrhenius.

HASIL DAN PEMBAHASAN

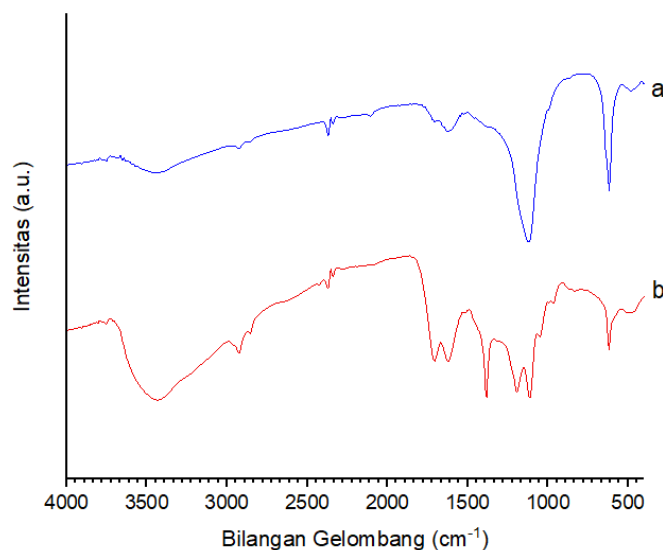
Karakterisasi Adsorben Kulit Mangga (*Mangifera indica*)

Karakterisasi adsorben kulit mangga (*Mangifera indica*) dilakukan dengan menggunakan FT-IR dan SEM. Spektra FT-IR (Gambar 1) mengindikasikan perubahan gugus fungsi adsorben sebelum dan sesudah proses adsorpsi emas. Permukaan adsorben dianalisis SEM (Gambar 2) untuk mengetahui perbedaan gambaran permukaan adsorben sebelum menyerap emas ataupun setelah menyerap emas.

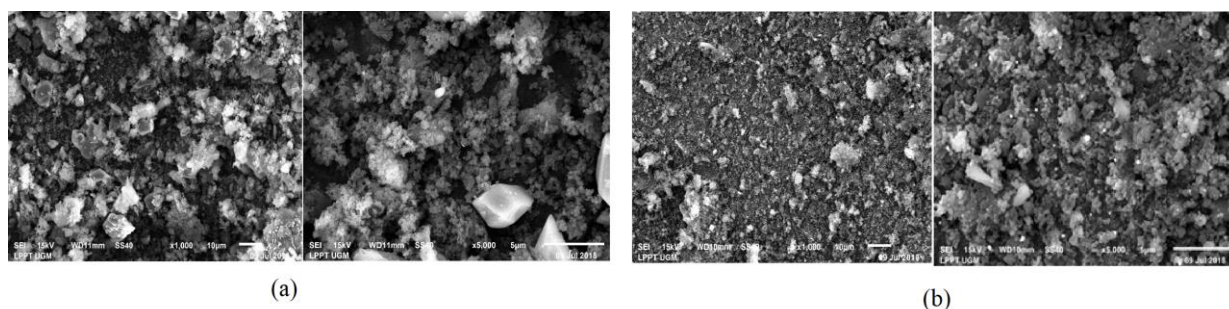
Puncak $3448,72\text{ cm}^{-1}$ (adsorben sebelum menyerap emas) dan $3433,29\text{ cm}^{-1}$ (adsorben setelah

menyerap emas) merupakan puncak gugus OH stretching. Puncak ini mengalami pelebaran dan pergeseran bilangan gelombang menuju nilai yang lebih kecil. Hal ini dikarenakan adanya ikatan koordinasi AuCl_4^- dengan atom O pada gugus OH. Ikatan koordinasi ini memperlemah vibrasi pada ikatan OH. Ikatan koordinasi AuCl_4^- memiliki efek sama layaknya ikatan hidrogen yang terjadi antar gugus OH pada molekul yang berbeda. Dengan kata lain, ikatan koordinasi ini menambah pengaruh ikatan hidrogen yang terjadi sehingga puncaknya semakin lebar.

Puncak $1118,71\text{ cm}^{-1}$ dan $1111,87\text{ cm}^{-1}$ yang muncul sebagai serapan yang kuat dan tajam pada spektra sebelum dan sesudah menyerap Emas merupakan bilangan gelombang ikatan C-O-C. Kedua puncak ini merupakan bukti bahwa selulosa pada kulit mangga telah berhasil dihubungkan antar selulosa melalui ikatan linkage C-O-C ketika dilakukan proses reaksi dengan H_2SO_4 . Hal ini disebabkan karena puncak tersebut memiliki intensitas serapan yang lebih tinggi dibandingkan dengan puncak ikatan C-O-C pada spektra IR



Gambar 1. Spektra IR adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat (a) sebelum menyerap emas dan (b) setelah menyerap emas.



Gambar 2. Permukaan adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat yang dianalisis menggunakan SEM dengan perbesaran 1000 dan 5000 kali. (a) sebelum menyerap emas dan (b) setelah menyerap emas

selulosa hasil ekstraksi dari pod husks kakao yang diukur oleh Hutomo dkk. (2012). Puncak C-O-C menurut Hutomo dkk. (2012) ini muncul pada $1064,72\text{ cm}^{-1}$ yang merupakan puncak vibrasi ikatan C-O-C di dalam kerangka selulosa (non-linkage). Perbedaan bilangan gelombang ikatan C-O-C yang terjadi antara sebelum dan sesudah modifikasi terjadi karena bertambahnya ikatan C-O-C akibat terjadinya linkage antar selulosa. Semakin banyak ikatan C-O-C dalam struktur selulosa maka energi vibrasi yang terjadi semakin besar. Hal ini mengakibatkan nilai bilangan gelombang mengalami pergeseran ke arah nilai yang lebih besar.

Puncak 1620 cm^{-1} dan 1700 cm^{-1} yang merupakan spektra IR adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat sebelum menyerap emas terlihat tidak tajam. Namun, puncak tersebut menjadi lebih tajam ketika adsorben menyerap emas. Puncak ini merupakan vibrasi ikatan karbonil C=O . Puncak ini menjadi bukti bahwa proses adsorpsi emas atau AuCl_4^- diikuti dengan proses oksidasi gugus hidroksil yang berperan sebagai situs aktif adsorpsi. Proses oksidasi ini akan melepaskan elektron yang ditangkap oleh emas atau Au(III) sehingga tereduksi menjadi Au^0 (logam emas). Hal ini sesuai dengan penelitian Hamamoto *et al.* (2009) yang melakukan reduksi ion Au(III) menjadi logam emas menggunakan turunan fenol dan menunjukkan hasil bahwa gugus hidroksil pada senyawa turunan fenol bekerja secara efisien dalam mereduksi ion Au(III) menjadi logam emas (Au^0).

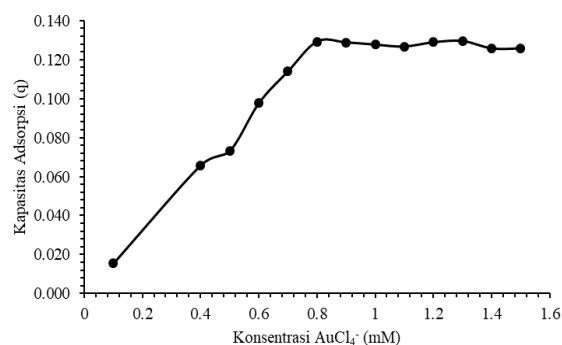
Puncak baru muncul pada $1381,03\text{ cm}^{-1}$ dan $1195,87\text{ cm}^{-1}$. Puncak ini menurut Sudiono *et al.* (2017) adalah puncak yang menggambarkan interaksi yang terjadi antara Au dan atom O melalui ikatan koordinasi. Puncak ini menjadi bukti bahwasanya proses adsorpsi telah terjadi antara adsorben dengan Au(III).

Analisis menggunakan SEM dilakukan dengan perbesaran 1000 kali dan 5000 kali. Hasil SEM ini membuktikan terjadinya proses adsorpsi-reduksi. Gambar SEM adsorben setelah menyerap emas tidak berongga karena emas atau Au(III) tereduksi menjadi logam emas (Au^0) yang akan menempel pada rongga adsorben sehingga akan menutupi rongga-rongga tersebut.

Penentuan Kapasitas Adsorpsi

Hasil uji adsorpsi adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat terhadap emas ditunjukkan pada Gambar 3. Penyerapan emas semakin meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi AuCl_4^- . Penyerapan emas maksimum terjadi pada konsentrasi $0,8\text{ mM}$. Kapasitas adsorpsi menggambarkan jumlah emas atau Au(III) yang terserap oleh adsorben selama waktu tertentu. Gambar 3 menunjukkan kurva kapasitas adsorpsi emas oleh adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat. Emas mengalami kenaikan penyerapan oleh adsorben sampai konsentrasi $0,8\text{ mM}$. Setelah

tercapai penyerapan maksimum, proses penyerapan berjalan relatif konstan. Nilai kapasitas adsorpsi maksimum yang diperoleh adalah 130 mmol/kg . Nilai kapasitas adsorpsi adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat terhadap emas atau Au(III) lebih rendah daripada jenis bioadsorben lain seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1. Hal ini dikarenakan jumlah prekursor molekul yang terdapat dalam kulit mangga (selulosa) lebih sedikit dari pada jumlah prekursor molekul dalam adsorben jenis lain.



Gambar 3. Kapasitas adsorpsi emas oleh adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat.

Tabel 1. Nilai kapasitas adsorpsi (q) bioadsorben lain terhadap emas atau Au(III)

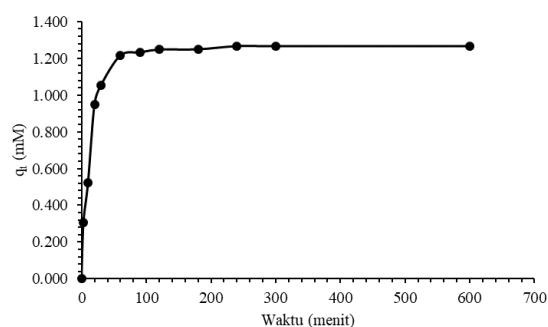
Adsorben	q (mol/kg)	Referensi
Kulit mangga termodifikasi asam sulfat	0,13	Penelitian ini
<i>Natural condensed tannin</i>	40,67	Ogata & Nakano (2005)
<i>Crude tannin powder (CPT)</i>	5,80	Gurung <i>et al.</i> (2011)
CPT gel	7,70	Gurung <i>et al.</i> (2011)
<i>Glycine modified crosslinked chitosan resin</i>	0,86	Ramesh <i>et al.</i> (2008)

Kinetika Reaksi Adsorpsi

Penentuan kinetika reaksi dilakukan pada interval waktu 0-600 menit. Kemampuan adsorben mengadsorpsi Au(III) dapat dilihat dari grafik daya serap dengan waktu kontak. Semakin lama waktu kontak antara Au(III) dan adsorben maka semakin banyak Au(III) yang teradsorpsi. Hal ini karena semakin banyak kesempatan partikel Au(III) bersinggungan dengan adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat. Au(III) akan terikat pada pori-pori adsorben. Penentuan waktu kontak adsorpsi ini bertujuan untuk mengetahui waktu minimum yang

dibutuhkan adsorben untuk mengadsorpsi Au(III) secara maksimum.

Gambar 4 menunjukkan bahwa pada menit awal adsorpsi Au(III) oleh adsorben berlangsung cepat, sedangkan pada menit akhir reaksi berlangsung lambat. Hal ini dipengaruhi oleh ketersediaan situs aktif yang tersedia pada adsorben. Pada menit awal, situs aktif yang tersedia pada adsorben relatif lebih banyak. Dengan berjalannya proses adsorpsi, interaksi yang terjadi antara Au(III) dan adsorben semakin banyak, sehingga jumlah situs aktif yang terdapat pada adsorben berkurang. Hal ini yang menyebabkan kecepatan adsorpsi Au(III) semakin berkurang.



Gambar 4. Grafik Au(III) teradsorpsi oleh adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat.

Proses adsorpsi dilakukan hingga menit 600 dimana kesetimbangan reaksi diharapkan telah terjadi sebelum menit tersebut. Kesetimbangan reaksi ini terjadi karena konsentrasi Au(III) sangat terbatas jumlahnya, pada puncaknya Au(III) ini akan mengalami kejenuhan atau telah habis teradsorpsi oleh adsorben. Penentuan kinetika adsorpsi dilakukan pada menit sebelum terjadinya kesetimbangan adsorpsi Au(III) oleh adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat.

Kinetika adsorpsi dapat dijelaskan sebagai tingkat perpindahan molekul dari larutan ke pori-pori adsorben. Kinetika adsorpsi menyatakan adanya proses penyerapan suatu zat oleh adsorben dalam fungsi waktu. Adsorpsi terjadi pada permukaan zat padat karena adanya gaya tarik atom atau molekul pada permukaan zat padat. Untuk menentukan mekanisme dan konstanta laju adsorpsi dibutuhkan suatu pendekatan dengan model kinetika, yaitu orde pertama semu (pseudo-1) dan orde kedua semu (pseudo-2).

Penelitian ini menggunakan berbagai pendekatan model karena untuk menentukan model kinetika yang cocok untuk proses adsorpsi Au(III) oleh adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat. Model kinetika tersebut dapat digunakan untuk menentukan parameter kinetika adsorpsi yaitu konstanta laju adsorpsi dan energi adsorpsi. Masing-masing grafik model kinetika yang telah dibuat menghasilkan persamaan garis yang menggambarkan model kinetika tersebut dan nilai R^2 . Model kinetika

adsorpsi yang cocok ditandai dengan nilai R^2 yang mendekati satu. Tabel 2 menunjukkan persamaan dan nilai R^2 yang diperoleh dari masing-masing model kinetika adsorpsi.

Data Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai R^2 orde 1 semu memiliki R^2 yang tidak mendekati 1. Hal ini menggambarkan bahwa orde tersebut tidak sesuai untuk menentukan kinetika adsorpsi Au(III) oleh adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat. Nilai R^2 yang paling mendekati 1 adalah orde 2 semu (pseudo-1). Hal ini menunjukkan kinetika adsorpsi Au(III) oleh adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat dapat ditentukan dengan model kinetika orde 2 semu (pseudo-2).

Tabel 2. Persamaan garis dan nilai R^2 yang diperoleh dari masing-masing model kinetika adsorpsi

Model Kinetika Adsorpsi	Persamaan garis	Nilai R^2
Orde 1 semu	$y = -0,011x - 0,4819$	$R^2 = 0,7668$
Orde 2 semu	$y = 0,7753x + 5,2863$	$R^2 = 0,9996$

Penentuan Konstanta Laju dan Energi Adsorpsi

Paramater kinetika adsorpsi ditentukan dengan menggunakan model kinetika orde 2 semu (pseudo-2). Parameter tersebut berupa konstanta laju adsorpsi dan energi adsorpsi. Nilai konstanta laju adsorpsi yang diperoleh adalah $0,1137 \text{ mM}^{-1}\text{s}^{-1}$. Nilai konstanta laju adsorpsi ini menggambarkan kecepatan proses adsorpsi yang terjadi.

Nilai konstanta laju adsorpsi yang diperoleh digunakan untuk energi adsorpsi (E_{ads}) dengan menggunakan persamaan Arrhenius. Energi adsorpsi (E_{ads}) merupakan energi pemicu terjadinya proses adsorpsi. Nilai energi adsorpsi pada proses adsorpsi emas oleh adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat yang diperoleh yaitu $5442,72 \text{ J/mol}$. Nilai energi adsorpsi ini bertanda positif membuktikan bahwa proses adsorpsi diikuti dengan proses reduksi ion emas menjadi logam emas dan menggambarkan bahwa proses adsorpsi berjalan endotermis atau membutuhkan energi supaya proses adsorpsi berlangsung (Gurung *et al.* 2011). Jika dibandingkan dengan energi adsorpsi adsorben *Crude PT powder* dan *CPT gel* yang dibuat oleh Gurung *et al.* (2011) yaitu 72000 J/mol dan 54000 J/mol , nilai energi adsorpsi adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat memiliki energi lebih rendah sehingga proses adsorpsi lebih mudah terjadi.

KESIMPULAN

Telah berhasil disintesis adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat berdasarkan uji IR dan SEM. Proses adsorpsi emas oleh adsorben kulit mangga termodifikasi asam sulfat mengikuti model

kinetika orde dua semu (pseudo-2) dengan nilai kapasitas adsorpsi, konstanta laju adsorpsi dan energi adsorpsi yang diperoleh adalah 130 mmol kg⁻¹, 0.1137 mM⁻¹s⁻¹ dan 5442,72 J mol⁻¹.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Perguruan Tinggi (Kemenristekdikti) Republik Indonesia atas dana hibah yang diberikan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Gaffney, J.S., Marley, N.A. & Clark, S.B. (1996). Humic and fulvic acids and organic colloidal materials in the environment. In Gaffney, J.S., Marley, N.A., & Clark, S.B (eds). *Symposium on humic/fulvic acids and organic colloidal materials in the environment*. American Chemical Society. Washington DC.
- Gramatyka, P., Nowosielski, R. & Sakiewicz, P. (2007). Recycling of waste electrical and electronic equipment. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 20(1-2): 535-538.
- Gurung, M., Adhikari, B.B., Kawakita, H., Ohto, K., Inoue, K. & Alam, S. (2011). Recovery of Au(III) by using low cost adsorbent prepared from persimmon tannin extract. *Chemical Engineering Journal*. 174(2-3): 556-563.
- Hamamoto, K., Kawakita, H., Ohto, K. & Inoue, K. (2009). Polymerization of phenol derivatives by the reduction of gold ions to gold metal. *Reactive and Functional Polymers*. 69(9): 694-697.
- Hiskey, J.B. (1985). Gold and silver extraction: the application of heap-leaching cyanidation. *Arizona Bureau of Geology and Mineral Technology Field Notes*. 15(4): 1-5.
- Hutomo, G.S., Marseno, D.W., Anggrahini, S. & Supriyanto, S. (2012). Ekstraksi selulosa dari pod husk kakao menggunakan sodium hidroksida. *Agritech*. 32(3): 223-229.
- Ogata, T. & Nakano, Y. (2005) Mechanism of gold recovery from aqueous solutions using a novel tannin gel adsorbent synthesized from natural condensed tannin. *Water Research*. 39(18): 4281-4286.
- Prasasti, D. (2011) Studi adsorpsi-reduksi ion Au(III) pada asam humat dan asam humat teresterifikasi. Tesis Magister. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Gadjah Mada.
- Qu, R., Sun, C., Wang, M., Ji, C., Xu, Q., Zhang, Y., Wang, C., Chen, H. & Zing, P. (2009). Adsorption of Au(III) from aqueous solution using cotton fiber/chitosan composite adsorbent. *Hydrometallurgy*. 100(1-2): 65-71.
- Ramesh, A., Hasegawa, H., Sugimoto, W., Maki, T. & Ueda, K. (2008). Adsorption of gold (III), platinum (IV) and palladium (II) onto glycine modified crosslinked chitosan resin. *Bioresource Technology*. 99(9): 3801-3809.
- Rubcumintara, T. (2015). Adsorptive recovery of Au(III) from aqueous solution using modified bagasse biosorbent. *International Journal of Chemical engineering and Applications*. 6(2): 95-100.
- Takahashi, K., Sasaki, A. & Umeda, H. (2007). The recycling of precious metals at Yokohama Metal Co., Ltd. *Journal of MMIJ*. 123(12): 744-746.
- Sodhi, M.S. & Reimer, B. (2001). Models for recycling electronics end-of-life products. *OR-Spektrum*. 23(1): 97-115.
- Stum, W. & Morgan, J.J. (1996). *Aquatic Chemistry: Chemical Equilibria in Natural Water*. John Wiley and Sons. Inc. New York.
- Sudiono, S., Yuniarti, M., Siswanta, D., Kunarti, E.S., Triyono, T. & Santosa, S.J. (2017). The role of carboxyl and hydroxyl groups of humic acid in removing AuCl₄⁻ from aqueous solution. *Indonesian Journal of Chemistry*. 17(1): 95-104.
- Supriyadijaja, A. & Widodo (2009). *Studi penggunaan H₂O₂ pada pelarutan bijih emas Sukabumi Selatan dengan larutan sianida*. LIPI. Sukabumi Selatan.
- Voshchinin, S.A., Bul'ba, V.A., Ostryi, I.I., Pereslavytsev, A.V. & Tresvyatskii, S.S. (2012). Problem of utilization of solid production and consumption wastes. Plasma treatment of solid wastes. *Russian Journal of General Chemistry*. 82(4): 785-790.
- Wang, L., Peng, H., Liu, S., Yu, H., Li, P. & Xing, R. (2012). Adsorption properties of gold onto a chitosan derivative. *International Journal of Biological Macromolecules*. 51(5): 701-704.